

INVESTIGACION

La sección de Difusión de Investigación en Ingeniería, como su nombre lo indica, pretende divulgar el trabajo de investigación y desarrollo que se haga en esta Facultad y otras Facultades de Ingeniería del país.

Esperamos que esta sección pueda servir para aumentar los mecanismos de comunicación de la comunidad científico-tecnológica en el país. Consecuentes con lo anterior invitamos a investigadores de otras universidades para que usen este espacio para divulgar resultados que sean de interés para un sector amplio de la ingeniería.

Fernando Jiménez Vargas

Resumen

La investigación en sistemas flexibles de producción en la Universidad de los Andes



Fernando Jiménez Vargas

Ingeniero Eléctrico, D.E.A.
Profesor Departamento de
Ingeniería Eléctrica.

Este trabajo presenta los conceptos de flexibilidad y niveles de automatización en sistemas flexibles de manufactura (FMS). También se presenta la actividad tanto académica como de investigación y desarrollo (I&D) realizada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes, en esta área.

1. Introducción

Los Sistemas flexibles de Manufactura (FMS) corresponden a

una nueva tecnología de producción, resultado de mezclar la eficiencia de una línea de transferencia bien balanceada mientras se usa la

flexibilidad de los «job shops» para manufacturar simultáneamente partes de diferentes tipos. Hacemos énfasis en la importancia económica de los FMS en la fabricación o manufactura por «batches». Las facilidades de producción deben responder rápidamente a los inesperados cambios del mercado. Podemos definir un Sistema Flexible de Manufactura (FMS) como un complejo de dispositivos automáticos de manejo de material y máquinas controladas numéricamente, operado de manera integrada por computador, con el objetivo de

producir volúmenes medianos de partes o piezas de diferentes tipos. (STECKE 83). En la actualidad existe confusión sobre lo que es un FMS, pues muchas instalaciones industriales alrededor del mundo, sin cumplir las condiciones de la definición, son llamadas FMS.

Este trabajo tiene el objetivo de lograr claridad respecto a esta importante tecnología y presentar la actividad tanto académica como de investigación y desarrollo (I&D) realizada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes, en esta área.

En el numeral 2 se presentan los diferentes tipos de flexibilidad y los diferentes niveles de automatización de un FMS o cantidad de flexibilidad instalada. Todo FMS tiene la capacidad potencial de usar cualquier tipo de flexibilidad, sin embargo hay que reconocer las razones económicas,

tecnológicas, prácticas y estratégicas para no diseñar ni implementar todas estas flexibilidades. Este modelo puede dar claridad a las futuras aplicaciones de FMS en nuestro medio.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes se han realizado varios trabajos de I&D, a nivel de tesis de Magister y Doctorado, bajo una filosofía que puede resumirse en los siguientes puntos:

- creación de una masa crítica adecuada en número y calidad para enfrentar la responsabilidad de ser unidades de I&D para la industria nacional.

- proveer herramientas de productividad que puedan ser asimiladas rápidamente por la industria.

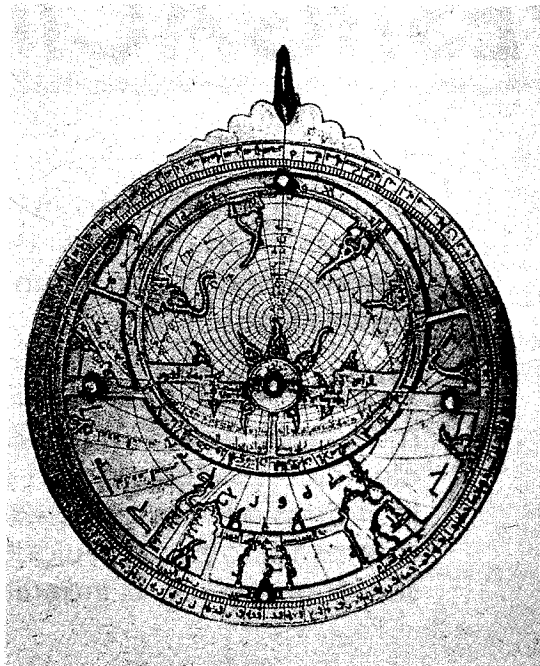
- crear conocimiento a nivel fundamental en FMS al interior de la Universidad con el objetivo de crear empresas de alta tecnología que suplan las necesidades de la industria en este sector.

El trabajo en esta dirección ha demostrado que lo que justifica los esfuerzos de un grupo de I&D en FMS en un país como Colombia es el desarrollo de herramientas de propósito específico que tengan en cuenta las variables tecnológicas y económicas del medio industrial colombiano (HERNANDEZ et al 90).

En los numerales tres y cuatro respectivamente se presenta un resumen de dos trabajos realizados dentro de este grupo de FMS:

- Modelo de Coordinación y control para una célula flexible de manufactura.
- Supervisión en sistemas distribuidos y su interfaz gráfica.

En lo referente a la formación de Ingenieros para la industria, la Facultad de Ingeniería creó un programa de Especialización en



Automatización de procesos Industriales. Este programa de posgrado inició la primera promoción en enero 1992, con el objetivo de capacitar ingenieros y profesionales relacionados con proyectos de automatización industrial, en las nuevas tecnologías de producción automatizada. Este programa además marca una estrecha colaboración con la industria, con resultados favorables para ambas partes.

2. Flexibilidad y automatización.

Stecke define ocho tipos de flexibilidad, siendo tal vez este el aspecto mas importante e incuantificable de un FMS.

A. Flexibilidad de máquina o la facilidad de hacer los cambios requeridos para producir un conjunto dado de tipos de piezas. Esta flexibilidad se puede medir por los tiempos de preparación de máquinas, equipos, herramientas, etc, necesarios para producir un nuevo tipo de pieza. Esta flexibilidad de bajo nivel se logra mediante dispositivos sofisticados de carga y descarga automática

tanto de piezas como de herramientas, mediante una asignación adecuada de operaciones para minimizar el número de cambios de herramienta y mediante la carga simultánea tanto de la pieza como de la herramienta y otros recursos como el programa NC de maquinado.

B. Flexibilidad de proceso o la habilidad para producir un conjunto dado de tipos de piezas, individualmente, en diferentes materiales y de diferentes maneras. Esta flexibilidad se puede medir por el número de tipos de piezas que pueden procesarse simultáneamente sin usar «batches». El aumento de esta flexibilidad hace disminuir los costos de preparación de la máquina. Esta flexibilidad se logra mediante la flexibilidad de máquina o maquinado y haciendo uso de máquinas multipropósito y adaptivas tales como los centros CNC.

C. Flexibilidad de producto o la habilidad para hacer los cambios necesarios para producir un nuevo conjunto de productos muy económica y rápidamente. Esta

flexibilidad se puede medir por el tiempo requerido para conmutar de una mezcla de tipos de piezas a otra, no necesariamente de los mismos tipos de piezas. Esta flexibilidad mide la capacidad de la fábrica para adaptarse a los cambios en la demanda del mercado o en la actitud de la competencia. Se logra mediante sistemas de control y planeamiento de la producción los cuales hagan una asignación de operaciones o

duplicación en la asignación de operaciones.

E. Flexibilidad de volumen o la habilidad para operar un FMS económicamente a diferentes volúmenes de producción. Esta flexibilidad permite minimizar los problemas de personal cesante en casos de recesión económica o períodos de baja demanda. Esta flexibilidad se puede medir conociendo que tan pequeños

se logra mediante un «layout» no especializado, sistemas AGVS, células modulares y flexibles y la flexibilidad de rutas.

G. Flexibilidad de operación o la habilidad para intercambiar el orden de algunas operaciones para cada tipo de parte. Esta flexibilidad puede medirse por la no predeterminación ni de la siguiente operación, ni de la siguiente máquina. Esta flexibilidad se logra mediante un sistema de toma de decisiones en tiempo real, es decir según el estado del sistema (cual máquina está libre, ocupada, atascada, etc).

H. Flexibilidad de producción o el rango de tipos de piezas que el FMS puede producir; es medida por el grado de tecnología existente o instalada. Se logra claramente aumentando el nivel tecnológico, integrando máquinas versátiles y todas las flexibilidades ya mencionadas.



recursos y mediante la flexibilidad de maquinado.

D. Flexibilidad de enrutamiento o la habilidad para manejar fallas del sistema productivo y seguir produciendo el conjunto dado de tipos de piezas. Esta flexibilidad se puede medir por la robustez del FMS contra fallas: la tasa de producción no se debe decrementar apreciablemente y la producción debe ser continua. Aquí podemos distinguir dos tipos de flexibilidad de rutas: la potencial, basada en rutas fijas pero con funciones de re-enrutamiento en caso de fallas y la actual, caracterizada por la redundancia de operaciones, es decir que una pieza puede ser fabricada en varios sitios. Esta flexibilidad se logra mediante funciones de enrutamiento automático (redundancia de máquinas) y

pueden ser los volúmenes de producción para todos los tipos de piezas. Entre más pequeño es el volumen, más flexibilidad de volumen se posee. Un alto nivel de automatización permite disminuir los costos de preparación de máquinas y la disminución de los costos variables. Esta flexibilidad se logra mediante máquinas multipropósito, mediante sistemas automáticos de manejo de material (AGVS), mediante un «layout» de la planta que no sea especializado en un tipo de pieza o proceso particular y mediante la flexibilidad de enrutamiento.

F. Flexibilidad de expansión o la capacidad de construir un sistema de producción y expandirlo según las necesidades, fácil y modularmente. Esta flexibilidad se puede medir por que tan grande llegará a ser el FMS. Esta flexibilidad

No todos los tipos de flexibilidad son independientes. Podemos señalar que la flexibilidad de producción puede ser lograda si previamente se ha llegado a tener respectivamente la flexibilidad de operación, producto, proceso, volumen y expansión. Y a su vez, el logro de las flexibilidades de operación, producto y proceso requieren el dominio de flexibilidad de enrutamiento. Esto quiere decir que lograr la flexibilidad de producción es un proceso que comienza por tener flexibilidad de máquina y flexibilidad de enrutamiento.

Una metodología general para modularmente desarrollar, planear, construir y eventualmente implementar una fábrica automática se presenta a continuación.

A partir de una máquina-herramienta controlada numéricamente (MHCN) e incorporándole las siguientes funciones automáticas, obtenemos una célula flexible de maquinado (FMC):

- carga y descarga automática.
- monitoreo de la vida de la herramienta.
- un buffer de almacenamiento pre y post - MHCN.
- compensación por longitud de la herramienta.
- prueba metrológica.
- control CNC.

Estas mismas funciones pueden ser adicionadas a un robot obteniendo una célula flexible de ensamblaje (FAC).

A partir de un FMC o un FAC se llega a un sistema flexible de manufactura (FMS) o un sistema flexible de ensamblaje (FAS) incorporando las siguientes funciones automáticas:

- mezclado y paletizado automáticos.
- control adaptivo.
- manejo automático de material.
- equipos auxiliares (máquinas de inspección, lavado, etc).
- control y planeamiento automático de la producción.
- control jerárquico por computador (DNC, supervisión, coordinación, etc).

A partir de un FMS o FAS se obtiene una fábrica automática (FA), integrando las siguientes funciones:

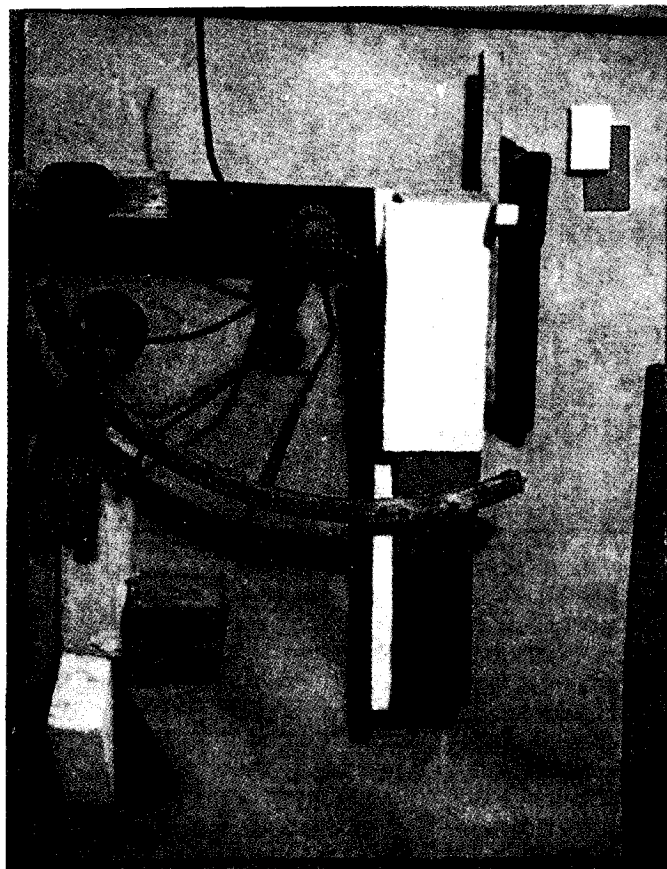
- sistema de administración general.
- sistema automático de administración de materiales.
- integración y coordinación de varios FMS o FAS.
- almacenamiento y recuperación automática de materiales, partes, sub-ensambles, mezclas, herramientas.

- bases de datos integradas diseño y manufactura.
- CAD/CAPP.
- tecnología de grupos.

Vemos una íntima relación entre el nivel de automatización y el tipo de flexibilidad buscada. Todos los FMS tienen los mismos componentes. El número y tipo de máquinas varía. Lo que realmente define la flexibilidad de una instalación es su modo de operación, su

todas las interfases entre los diferentes componentes modulares y requerimientos funcionales señalados anteriormente existen en la actualidad y aquellas que ya existen no son ampliamente usadas. Por ejemplo la interfase entre el CAD y el FMS será la generación automática de programas NC de maquinado de partes, sin embargo sistemas de generación automática de código NC no están aún tan disponibles. Otra interfase es la comunicación automática entre el subsistema de

tipo MRP y el computador que controla el sistema automático de almacenamiento y recuperación de materiales, herramientas, sub-ensambles, etc. No existe aún interfase entre la tecnología de grupo y la salida de un sistema de tipo MRP. La robótica sigue siendo una aplicación «stand-alone» en células de ensamblaje o maquinado. Los robots aún no se han ligado a las bases de datos de geometrías de partes y de planeación de



funcionamiento. El nivel de flexibilidad deseada es una decisión muy importante cuando se desarrolla o planea un FMS. También es importante definir la interfase entre el sistema automatizado y el sistema de producción convencional existente, en donde existirán siempre situaciones donde no se desea automatizar, sobre todo en industrias de países en desarrollo.

Es muy importante remarcar que no

procesos. La manufactura implica transmitir, ordenar, analizar y modificar información. Esto necesita redes de comunicación orientadas a la manufactura como MAP, mini-MAP, Bitbus, Profibus, FIP, etc. En lo referente a las bases de datos de ingeniería y diseño la tendencia actual es hacia la comunicación entre ellas, por ejemplo la integración de información geométrica con información alfanumérica de manufactura.

3. Modelo de coordinación y control para una célula flexible de manufactura.

Este trabajo fue realizado en el marco de una tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas (PEÑALOZA 91).

El concepto de Célula Flexible de Manufactura está asociado a técnicas modernas de producción y ensamble masivo y eficiente de productos. Una Célula Flexible es el mecanismo terminal utilizado para la ejecución de un Plan de Producción de grupos de variedades de productos (familias de productos), obtenido con base en la planeación de la producción a corto plazo. El Plan de Producción es establecido previamente por un sistema de Programación de Tareas (scheduling).

El mecanismo encargado de la comunicación entre las directrices del Plan de Producción y los elementos de la Célula Flexible, es el Modelo de Coordinación y Control. Este establece las políticas globales de comunicación y sincronización de actividades entre los elementos de la Célula Flexible (coordinación) y establece exactamente las acciones que deben realizar sus elementos (control).

El modelo de Coordinación y Control sigue la filosofía de un Sistema Distribuido y está implementado en el ambiente para sistemas distribuidos JOYCE + sobre una red de área local TOKEN RING.

El ambiente para sistemas distribuidos JOYCE+ es un proyecto de investigación desarrollado en la Universidad de Los Andes por el grupo de Investigación SINBAD - Sistemas de Información y Bases de Datos Distribuidos.

4. Supervisión en sistemas distribuidos y su interfaz gráfica.

Este trabajo fue realizado en el marco de una tesis de Maestría en Ingeniería Eléctrica (PARRA 92).

El programa desarrollado en este proyecto, permite simultáneamente, realizar funciones de Supervisión y Monitoreo sobre las variables físicas que intervienen en un proceso.

La labor de Supervisión se apoya en el uso de las Redes de Petri, las cuales permiten, dada su estructura, realizar un seguimiento en el desarrollo de los eventos del proceso a supervisar.

La labor de Monitoreo consiste en una aplicación que implementa la interfaz gráfica entre las variables del proceso y el usuario, permitiéndole a este último, tener un conocimiento detallado del comportamiento de cada una de las variables físicas que intervienen en el proceso.



Referencias

1. WRIGHT, P. BOURNE David
Manufacturing Intelligence, 1988.
Adisson Wesley.
2. STECKE, K. Formulation and solution of non-linear integer production planning problems for FMS systems,
Management Science, Vol 29, No. 3 1983
3. HERNANDEZ T, GAUTHIER, A. GARCIA, A. JIMENEZ, F. TORO, R. Estrategias de desarrollo de herramientas CAD/CAM en Colombia. Grupo DFAC, Universidad de Los Andes, Bogotá, 1990.
4. PEÑALOZA, O. Modelo de Coordinación y Control para una célula flexible de manufactura, Tesis Magister Ingeniería de Sistemas, Universidad de Los Andes, Bogotá, 1991.
5. PARRA, F. Supervisión en sistemas distribuidos y su interfaz gráfica, Tesis Magister en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Los Andes, Bogotá, 1992